Macro-commande DEFI_CABLE_BP

Résumé

L'objectif de cette commande est de calculer les profils initiaux de tension le long des câbles de précontrainte d'une structure béton. Les données du calcul sont la tension appliquée aux extrémités et d'autres paramètres caractéristiques des ancrages et des matériaux. Les relations utilisées sont celles prescrites par le BPEL 91.

Le concept cabl_precont produit peut ensuite être utilisé :

- soit par l'opérateur AFFE_CHAR_MECA [U4.44.01] opérande RELA_CINE_BP pour définir les chargements mécaniques liés à la présence du câble (relations cinématiques et / ou tension dans les câbles).Ces chargements seront pris en compte par l'opérateur STAT_NON_LINE [U4.51.03].

- soit par l'opérateur CALC_PRECONT [U4.42.05] pour une mise en tension progressive des câbles, en prenant compte le comportement non-linéaire du béton.

Produit une Structure de Données de type cabl_precont.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Syntaxe

```
cabl_pr   [cabl_precont] = DEFI_CABLE_BP   (


        ♦ MODELE           =         modele,            [modele]
        ♦ CHAM_MATER       =         chmat,             [cham_mater]
        ♦ CARA_ELEM        =         caelem,            [cara_elem]
        ♦ GROUP_MA_BETON   =         grmabe,            [gr_maille]

        ♦ DEFI_CABLE       =  _F (

             ♦ /  GROUP_MA            =  grmaca,       [gr_maille]
               /  MAILLE              =  l_maca,       [l_maille]

             ♦ /  NOEUD_ANCRAGE       =  l_noa,        [l_noeud]
               /  GROUP_NO_ANCRAGE    =  l_gnoa,       [l_gr_noeud]
                                  )

      ♦  TYPE_ANCRAGE =              l_tya,           [l_tx]
      ♦  TENSION_INIT    =           f0,              [R]
      ♦  RECUL_ANCRAGE   =           delta,           [R]

      ◊  RELAXATION      =  _F (
           ♦     R_J     =           rj,              [R] )

      ◊  CONE            =  _F (

           ♦  RAYON      =           rayon,           [R]
           ♦  LONGUEUR   =           long,            [R]
           ♦  PRESENT    =           l_pre,           [l_tx] )

      ◊  TITRE           =           l_titr,          [l_tx]


   )
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Opérandes

2.1 Opérande MODELE

♦ MODELE = modèle

Concept produit par l'opérateur AFFE_MODELE [U4.41.01] permettant de définir les types d'éléments finis affectés aux mailles du maillage.

2.2 Opérande CHAM_MATER

♦ CHAM_MATER = chmat

Concept produit par l'opérateur AFFE_MATERIAU [U4.43.02] permettant d'affecter des matériaux aux mailles du maillage.

2.3 Opérande CARA_ELEM

♦ CARA_ELEM = caelem

Concept produit par l'opérateur AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01] permettant d'affecter des caractéristiques mécaniques et géométriques aux éléments de la structure étudiée.

2.4 Opérande GROUP_MA_BETON

♦ GROUP_MA_BETON = grmabe

Nom du (ou des) groupes de mailles du maillage représentant la structure béton. On définit ainsi précisément le lieu géométrique de projection des câbles, étape préliminaire à la détermination des relations cinématiques entre les degrés de liberté des nœuds des câbles et les degrés de liberté des nœuds de la structure béton.

Remarques :

1- Il est possible de fournir ici une liste de groupe de mailles, notamment pour le cas où toutes les mailles béton environnant le câble n'aient pas le même comportement. Toutefois, il est indispensable que toutes les mailles bétons concernées aient les mêmes caractéristiques BPEL_BETON.
2- Les mailles modélisant le béton ne peuvent être que des mailles 3D ou des mailles 2D dans le cas d'une modélisation avec des DKT.

2.5 Mot-clé DEFI_CABLE

♦ DEFI_CABLE

Mot-clé facteur permettant la définition d'un câble par désignation des entités topologiques du maillage qui le représentent. Les occurrences multiples sont autorisées, afin de pouvoir définir plusieurs câbles.

♦ / GROUP_MA = grmaca

Nom du groupe de mailles du maillage représentant le câble.

/ MAILLE = l_maca

Liste des mailles du maillage représentant le câble. Fonctionnalité incompatible avec le mot-clé CONE (utiliser GROUP_MA).

♦ / NOEUD_ANCRAGE = l_noa

Liste des nœuds définissant les ancrages du câble, i.e. les extrémités. Cette liste doit comporter 2 arguments, ni plus ni moins.

/ GROUP_NO_ANCRAGE = l_gnoa

Liste de groupes de nœuds définissant les ancrages. Le cardinal de cette liste doit être inférieur ou égal à 2. Dans chaque groupe de nœud, on ne retiendra comme ancrage que le premier nœud du groupe.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.6 Opérande TYPE_ANCRAGE

♦ TYPE_ANCRAGE = l_tya

Liste d'arguments de type texte caractérisant les ancrages du câble : 'ACTIF' ou 'PASSIF' (seuls arguments licites). Cette liste doit comporter 2 arguments, ni plus ni moins, et doit être ordonnée en regard de la liste des nœuds définissant les ancrages (opérande NOEUD_ANCRAGE ci-dessus). A noter que si plusieurs câbles sont définis dans DEFI_CABLE alors le premier argument de TYPE_ANCRAGE s'applique à tous les premiers nœuds qui définissent les ancrages. Idem pour le deuxième argument.

Remarques :

.

1- L'opérateur reconstitue le chemin connexe menant du premier au second ancrage du câble en parcourant les mailles qui le représentent. La non existence d'un chemin connexe entre les deux ancrages provoque un arrêt du programme en erreur fatale
2- Les ancrages actifs sont ceux où l'on applique une tension initiale.

2.7 Opérande TENSION_INIT

♦ TENSION_INIT = f0

Valeur de la force initiale appliquée aux ancrages actifs des câbles.
Cette valeur doit être positive.

2.8 Opérande RECUL_ANCRAGE

♦ RECUL_ANCRAGE = delta

Valeur du recul aux ancrages actifs des câbles.
Cette valeur doit être positive.

2.9 Mot-clé RELAXATION

◊ RELAXATION

Mot-clé facteur permettant la définition d'un paramètre pour la prise en compte des pertes de tension par relaxation de l'acier. Ce mot-clé facteur étant facultatif, par défaut les pertes de tension par relaxation de l'acier ne sont pas prises en compte.

♦ R_J = rj

Valeur de la fonction adimensionnelle $r(j)$ caractérisant l'évolution de la relaxation de l'acier dans le temps et uniquement de l'acier (ce coefficient ne s'applique pas aux pertes par fluage ou retrait du béton renseigné sous BPEL_BETON dans DEFI_MATERIAU) ; par exemple le BPEL 91 recommande :

$$r(j)=\frac{j}{j+9\times r_m} \text{ avec } j \text{ en jours}$$

et $r_m=\dfrac{\text{aire de la section de béton}}{\text{périmètre de la section de béton}}\equiv \text{rayon moyen}$

Cette valeur doit être positive ou nulle.

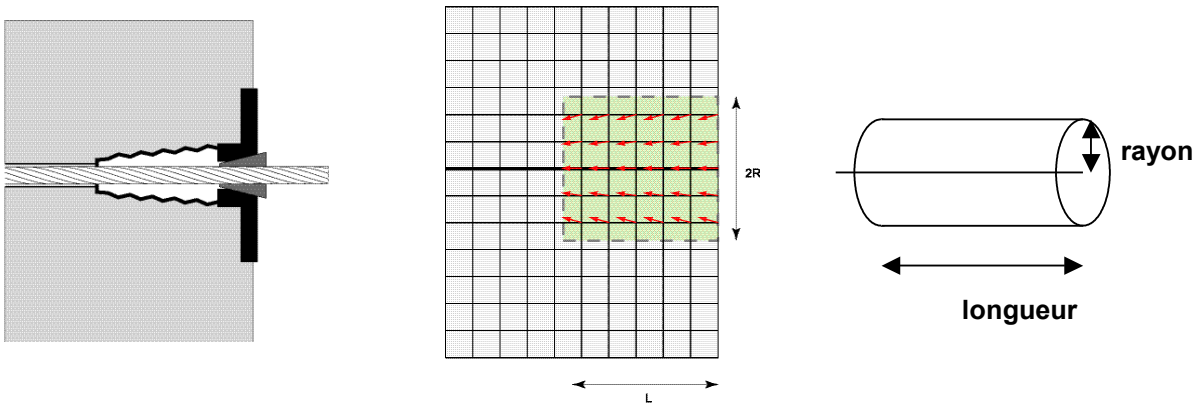
j correspond à la date (en jours) pour laquelle on veut estimer l'état de contrainte dans la structure. Pour le cas où, dans le calcul de structures, les barres seraient modélisées avec un comportement de type fluage, il ne faut pas renseigner ce mot-clé dans DEFI_CABLE_BP.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.10 Mot-clé CONE

♦ CONE

Ce mot-clé facteur permet de définir un volume géométrique autour des ancrages, et d'affecter, en sortie de AFFE_CHAR_MECA mot-clé RELA_CINE_BP, à tous les nœuds (béton et câble) contenus dans ce volume, une relation cinématique de type LIAISON_SOLIDE (corps rigide). La définition de ce volume permet d'atténuer les contraintes qu'engendrent les tensions aux extrémités des câbles sur le béton. Dans la réalité, ce phénomène est évité grâce à la mise en place d'un cône de diffusion de contrainte (matériau plus dur que le béton) qui répartit la force de précontrainte sur une grande surface du béton. En pratique, le cône étant pratiquement droit, on définit un volume cylindrique.



Situation réelle **Modélisation EF**

Figure 1: utilisation d'un cône de diffusion : situation réelle et modélisation

A noter que plusieurs cônes et donc plusieurs blocs rigides sont définis si le mot-clé PRESENT contient deux 'OUI' (un bloc par extrémité du câble) et/ou si plusieurs câbles sont définis sous DEFI_CABLE.

Remarque :

En pratique, le cylindre est défini par la commande DEFI_GROUP option TUNNEL. La méthodologie d'extraction des nœuds contenu dans le cône est décrite dans le document [U4.22.01] (commande DEFI_GROUP).

♦ RAYON = rayon

Rayon du cône.

♦ LONGUEUR = longueur

Longueur du cône, au sens abscisse curviligne sur le câble. On définit le cône comme une succession de cylindre en s'arrêtant lorsque la longueur totale des cylindres est égale au paramètre longueur.

♦ PRESENT = l_pre

Cette liste doit comporter 2 arguments, ni plus ni moins, et doit être ordonnée en regard de la liste des nœuds définissant les ancrages (opérande NOEUD_ANCRAGE GROUP_NO_ANCRAGE ci-dessus).
Les seuls arguments valides sont 'OUI' ou 'NON'; ils permettent de définir le cône sur les deux ancrages (PRESENT = ('OUI', 'OUI',)), sur le premier ancrage (PRESENT = ('OUI', 'NON',)) ou sur le deuxième ancrage (PRESENT = ('NON', 'OUI',)). A noter que si plusieurs câbles sont définis dans DEFI_CABLE alors le premier argument de PRESENT s'applique à tous les premiers nœuds qui définissent les ancrages. Idem pour le deuxième argument.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.11 Opérande TITRE

◊ TITRE = l_titr

Liste d'arguments de type texte définissant un titre attaché au concept [cabl_precont].

3 Complément théorique : estimation des pertes de tension dans un câble de précontrainte suivant les prescriptions du BPEL

L'évolution de la tension (en Newton) le long d'un câble de précontrainte est calculée en utilisant les relations prescrites par le BPEL. Ces relations sont les suivantes :

3.1 Evolution de la tension au voisinage de l'ancrage

$$F(s)=\tilde{F}(s)-\{x_{flu}\times F_0+x_{ret}\times F_0+r(j)\times\frac{5}{100}\times\rho_{1000}\left[\frac{\tilde{F}(s)}{S_a\times\sigma_y}-\mu_0\right]\times\tilde{F}(s)\}$$

où s désigne l'abscisse curviligne le long du câble. Les paramètres introduits dans cette expression sont :

- F_0 tension initiale (N) ;
- x_{flu} taux forfaitaire de perte de tension par fluage du béton, par rapport à la tension initiale ;
- x_{ret} taux forfaitaire de perte de tension par retrait du béton, par rapport à la tension initiale ;
- ρ_{1000} relaxation de l'acier à 1000 heures, exprimée en % ;
- S_a aire de la section droite du câble définie dans AFFE_CARA_ELEM ;
- σ_y contrainte limite élastique de l'acier ;
- μ_0 coefficient adimensionnel de relaxation de l'acier précontraint.

Tableau 3.1-1

$r(j)$ est une fonction adimensionnelle caractérisant l'évolution de la relaxation dans le temps :

$r(j)=\frac{j}{j+9\times r_m}$ avec j en jours et $r_m=\frac{\text{aire de la section de béton}}{\text{périmètre de la section de béton}}\equiv\text{rayon moyen}$

La fonction $r(j)$ dépendant de la géométrie de la structure, la valeur utilisée est définie dans l'opérateur DEFI_CABLE_BP.

$\tilde{F}(s)$ est l'évolution de la tension au voisinage de l'ancrage après prise en compte de la perte par recul d'ancrage et des pertes par contact entre le câble et le béton.
$\tilde{F}(s)$ est définie par la relation : $F_c(s)\times\tilde{F}(s)=\left[F_c(d)\right]^2$

$F_c(s)$ désigne l'évolution de la tension le long du câble après prise en compte des pertes par contact entre le câble et le béton : $F_c(s)=F_0\exp(-f\alpha-\phi s)$

α désigne la déviation angulaire cumulée et les paramètres introduits dans l'expression de son $F_c(s)$ t :

- f coefficient de frottement du câble sur le béton en partie courbe, en rad^{-1} ;
- ϕ coefficient de frottement par unité de longueur.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Remarques :

- *Les coefficients* $f, \phi, \rho_{1000}, \sigma_y, \mu_0$ *sont à renseigner dans l'opérateur* DEFI_MATERIAU *sous le mot-clé* BPEL_ACIER *,*
- x_{flu} *et* x_{ret} *sont à renseigner dans l'opérateur* DEFI_MATERIAU *sous le mot-clé* BPEL_BETON *.*

La longueur d intervenant dans l'expression de $\tilde{F}(s)$ est la longueur sur laquelle s'applique la perte de tension par recul à l'ancrage. Cette longueur est estimée à l'aide de la relation :

$$E_a S_a \Delta = \int_0^d \left(F_c(s) - \tilde{F}(s) \right) ds$$

où E_a est le module d'Young de l'acier et Δ la valeur du recul à l'ancrage. Ainsi $E_a S_a \Delta$ représente l'énergie de déformation (du câble) due au recul à l'ancrage.

3.2 Evolution de la tension au-delà de la longueur où s'appliquent les pertes de tension par recul à l'ancrage

$$F(s) = F_c(s) - \{ x_{flu} \times F_0 + x_{ret} \times F_0 + r(j) \times \frac{5}{100} \times \rho_{1000} \left[\frac{\tilde{F}(s)}{S_a \times \sigma_y} - \mu_0 \right] \times \tilde{F}(s) \}$$

avec les mêmes notations que celles introduites au paragraphe précédent.

4 Exemple

Voir le test SSNV164 pour une mise en application, et les documents [U2.03.06] et [U4.42.05] pour savoir plus précisément comment mettre en tension les câbles de précontrainte.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)